

**ФОРМИРОВАНИЕ В КАНАЛАХ БЛОЧНОГО КАТАЛИЗАТОРА
МИКРОВИХРЕВЫХ ПОТОКОВ ГАЗА С ИНТЕНСИВНОЙ ЗАКРУТКОЙ**© 2012 Ю. А. Кныш¹, Ю. И. Цыбизов², Д. Н. Дмитриев¹, А. А. Горшкалёв¹¹Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва
(национальный исследовательский университет)²Открытое акционерное общество «КУЗНЕЦОВ», г. Самара

В статье рассмотрены вопросы повышения эффективности работы каталитического нейтрализатора. Спроектирована новая конструкция каталитического блока. Выполнен весь комплекс гидродинамических расчётов микровихревых потоков в каналах катализатора.

ГТД, ГТУ, катализатор, микровихревой поток, каталитическая конверсия метана, компланарно-пересекающиеся каналы, гетерогенное горение, тепло- и массоперенос, закрученный поток.

В последние годы наблюдается рост интереса исследователей к водородосодержащим топливам применительно к силовым установкам на основе газотурбинных двигателей (ГТД) и установок (ГТУ), а также поршневых двигателей внутреннего сгорания (ДВС) [1,2]. В качестве основного источника водорода рассматривается синтез-газ ($\text{CO}+\text{H}_2$), получаемый путём каталитической конверсии метана [3]. Предстоит решить ряд сложных научно-технических проблем: синтезировать новые каталитические материалы, разработать конструкцию высокоэффективного каталитического блока-реактора синтез-газа.

Принято считать, что к настоящему времени в основном решены проблемы выбора активных каталитических композиций [4]. Главными стали вопросы радикального улучшения тепло- и массопереноса, оптимизации процессов гетерогенного горения и минимизации массогабаритных размеров реакторов синтез-газа [4].

Среди новых направлений поиска конструкций каталитического реактора сформировались такие направления, как блочно-сеточные реакторы [3], блоки с послойной навивкой гофрированной металлической фольги [3], микроблоки по типу печатных плат с перекрёстными каналами [4].

В отличие от ДВС, для которых конструкции каталитических нейтрализаторов

достаточно хорошо отработаны, в ГТУ главной проблемой является обеспечение минимальных гидравлических потерь при удовлетворительной эффективности каталитических процессов. Большие расходы рабочего тела (свыше 60...100 кг/с) и соответственно скорости потока (более 30...70 м/с) снижают эффективность известных технических решений по гидравлическим потерям.

Выполненные в СГАУ эксперименты по прямому использованию автомобильных каталитических блоков в условиях, приближенных к параметрам ГТУ, показали 40%-ю эффективность при четырёхкратном превышении допустимых гидравлических потерь. Эксперименты в направлении снижения гидрорпотерь путём увеличения размеров ячейки каталитического блока планируется продолжить. Однако эти опыты имеют скорее научный интерес. Необходим принципиально новый подход к повышению эффективности рабочего процесса в каналах каталитических блоков. В центре газодинамических исследований СГАУ предложен принципиально новый способ организации каталитического окисления в комбинации с горением в газовой фазе. В основу технологии положена известная в теплотехнике схема компланарно-перекрёстных каналов [5] (рис. 1), обеспечивающая высокие показатели по интенсивности теплообмена [6].

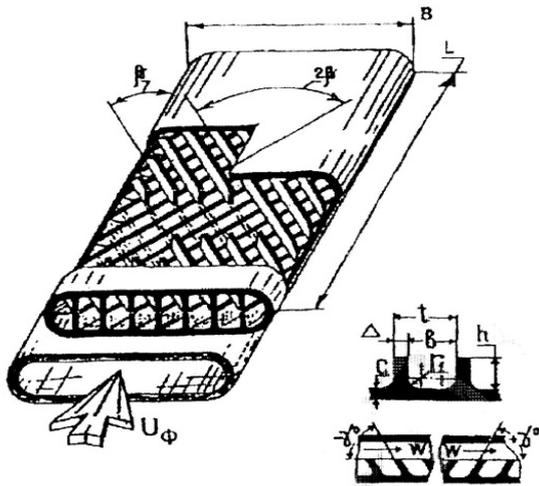


Рис. 1. Схема компланарно-перекрёстных каналов [5]

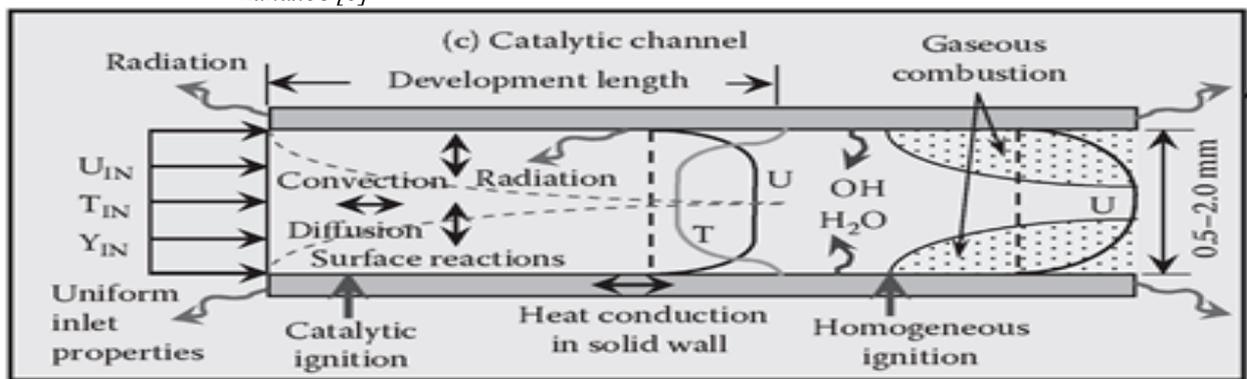


Рис. 2. Схема рабочего процесса в микроканале катализатора [7]

В ходе каталитической конверсии метана нередко образуются твёрдые частицы углерода, которые могут закупорить микроканалы катализатора. Таким образом, в традиционных катализаторах лимитирующим фактором оказывается низкая скорость теплообменных процессов при высокой скорости собственных каталитических гетерогенных реакций, идущих непосредственно на поверхности катализатора.

Предлагается принципиально изменить условия протекания химических реакций в микроканале блочного катализатора. С этой целью поперечные размеры канала увеличиваются в несколько раз: диаметр канала достигает до 5...10 мм. Имеется в виду условный диаметр, так как форма канала имеет прямоугольную, квадратную или иную геометрию.

Каналы указанных размеров позволяют организовать микровихревое течение газа с достаточно высокой степенью закрутки - до 1,0 и более. Увеличение диаметра канала приводит к уменьшению «активной» площа-

ди поверхности катализатора, что снижает его эффективную производительность. Предполагается, что многократное повышение интенсивности теплообмена в канале с микровихревым потоком компенсирует с положительным итогом потери активной площади катализатора. Это было достигнуто с помощью модели с компланарно-перекрёстными каналами. Внешний вид модели катализатора с каналами размером 8 × 8 мм представлен на фото (рис. 3).

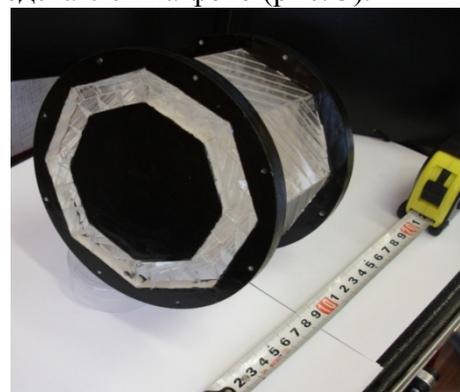


Рис. 3. Фотография модели каталитического блока

Для проведения численных расчётов построена трёхмерная модель каталитического блока (рис. 4). Построение производилось с помощью CAD-системы программного пакета *Unigraphics NX*.

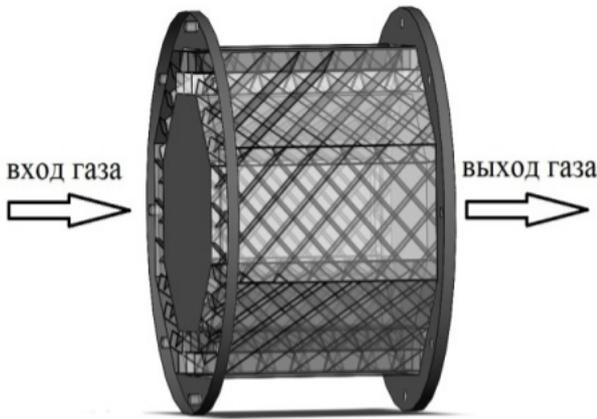


Рис. 4. Трёхмерная модель каталитического блока

На первом этапе в целях уменьшения объёма вычислений была выбрана плоская модель компланарно-пересекающихся каналов. Она позволяла оценить степень закрутки взаимно пересекающихся потоков при их взаимодействии. Предполагалось, что при увеличении количества актов взаимодействия степень закрутки потоков будет возрастать.

Плоская модель катализатора представляла собой 17 взаимно пересекающихся каналов, находящихся под углом взаимодействия потоков 90 градусов.

Сеточная модель была построена в сеткогенераторе ANSYS Gambit. Модель состоит из 3,7 млн. элементов в виде тетраэдров (рис. 5).

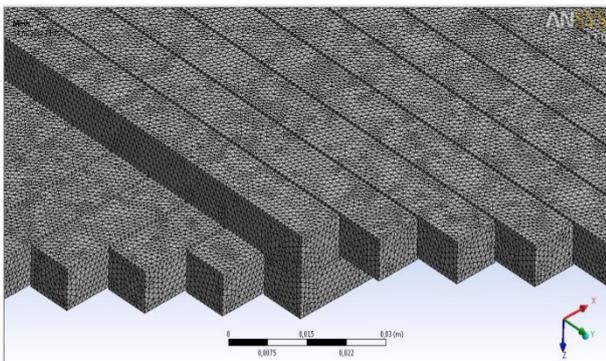
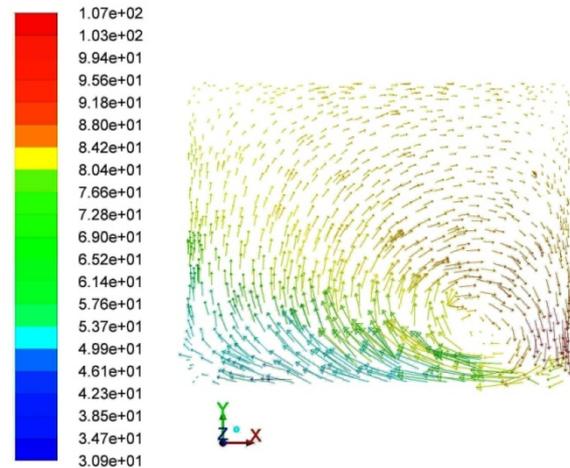


Рис. 5. Конечно-элементная сетка расчётной модели

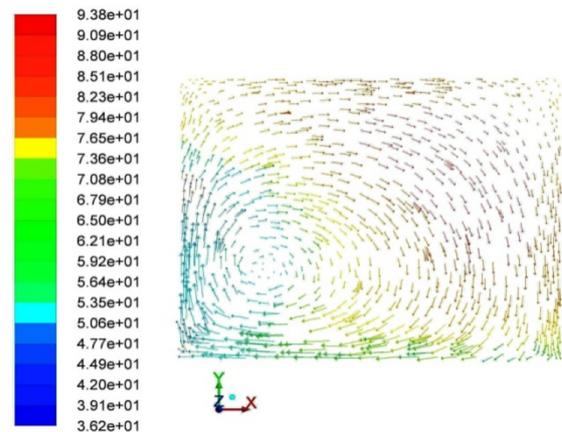
Вычисления проводились в программном комплексе ANSYS Fluent. В качестве граничных условий были заданы давления

101832 Па на входе и 101325 Па – на выходе.

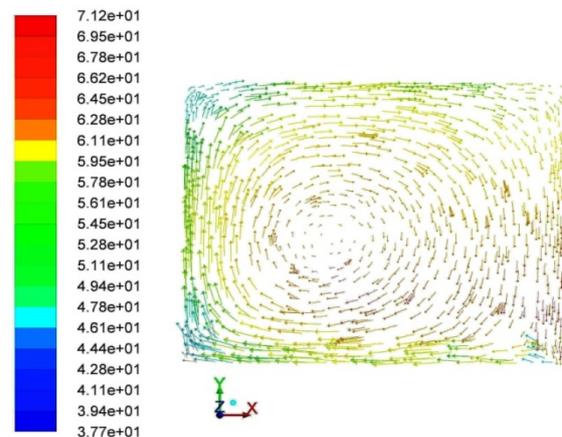
В результате расчёта были получены векторы распределения скорости в поперечном сечении канала после каждого взаимодействия (рис. 6). Сечения ориентированы по нормали к боковым стенкам канала.



а



б



в

Рис. 6. Расчёт распределения векторного поля скорости по сечениям канала: а – после пересечения с одним каналом; б - после пересечения с тремя каналами; в - после пересечения с одиннадцатью каналами

Анализ динамики формирования вихревых жгутов из первоначально прямоструйных потоков при их турбулентном взаимодействии показал, что при достаточно большом числе взаимных пересечений степень закрутки в каждом из двух потоков может быть достаточно высокой. Уже при первых актах взаимодействия появляются первые признаки образования вихря (рис. 6,а). Далее интенсивность взаимодействия потоков возрастает и уже к 9-му, 10-му взаимному пересечению потоки приобретают форму вихревых жгутов. Уровень закрутки, определяемый в данной работе – отношение тангенциальной составляющей скорости к осевой – нарастает пропорционально числу взаимных пересечений. Необходимое число пересечений и соответственно необходимый уровень закрутки будут зависеть от задач, решаемых с помощью конкретного катализатора. Имеется ввиду, что для высокой эффективности горения требуется более высокий уровень закрутки, а для уменьшения гидравлических потерь желательнее иметь минимальную степень закрутки.

Например, для высокоэффективного катализатора – дожигателя оксида углерода (СО) в отработавших газах ГТУ потребуются уровень закрутки (около 0,5-0,6), выбираемый из условия достаточно умеренного повышения гидравлических потерь.

Закрученный поток, как известно, генерирует образование массовых сил в газовом потоке, которые связаны с возникновением центостремительных ускорений (рис. 7).

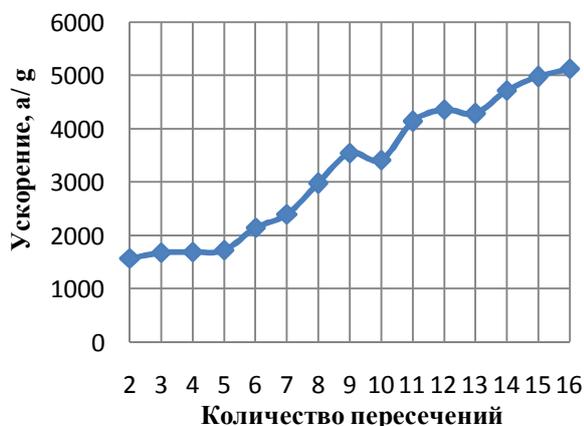


Рис. 7. Зависимость центостремительного ускорения потока от количества пересечений каналов

Для выбранного масштаба каталитического блока с каналами 8×8 мм уровень цен-

тостремительных ускорений достигает 1500...5000 g, где $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение земного тяготения. Предварительные испытания на экспериментальных макетах показали, что при скоростях потока 20 м/с и ускорении 3000 g огневой шнур пламени локализуется в центре канала.

Работа выполнена при финансовой поддержке Правительства Российской Федерации на основании Постановления Правительства РФ №218 от 09.04.2010 г.

Библиографический список

1. Арутюнов, В.С. Окислительная конверсия метана [Текст] / В.С. Арутюнов, О.В. Крылов // Успехи химии. - 2005. - №74(12).
2. Применение синтез-газа в качестве добавки к основному топливу в транспортных средствах: состояние и перспективы [Текст] / В.А. Кириллов, Н.А. Кузин, В.В. Киреев [и др.] // Теоретические основы химической технологии. – 2011.- Т.45. - №2. -С. 139-154.
3. Шаравин, Э.А. Генератор синтез-газа для двигателей внутреннего сгорания [Текст] / Э.А. Шаравин, Е.Ю. Аристова // Альтернативная энергетика и экология. – 2010. -№8 (88). –С.30-38.
4. Макашкин, Л.Л. Микроканальные каталитические системы для водородной энергетики [Текст] / Л.Л. Макашкин, В.Н. Пармон // Российский химический журнал. – 2006. – т.1, - №6. –С. 19-25.
5. Бильмаер, В.В. Теплообмен и гидравлическое сопротивление в компланарных каналах рекуперативных теплообменных аппаратов жилищно-коммунального хозяйства и бытовой техники [Текст] / В.В. Бильмаер // автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.13 – «Машины, агрегаты и процессы». – М.: – 2005. – 100 с.
6. Нагога, Г.П. Эффективные способы охлаждения лопаток высокотемпературных газовых турбин [Текст] / Г.П. Нагога. – М.: Моск. авиац. ин-т, 1996.-100с.
7. Liewen, T.C. Catalytic combustion of syngas [Text] / T.C. Liewen, R. Yetter, V. Yang // Synthesis gas combustion fundamentals and applications. – 2009. – P. 223-260.

**FORMATION IN THE CHANNELS OF THE BLOCK CATALYST THE MICRO
VORTEX GAS FLOWS WITH INTENSE TWIST**

© 2012 Y. A. Knysh¹, Y. I. Zibizov², D. N. Dmitriev¹, A. A. Gorshkalev¹

¹Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov
(National Research University)

²JNC "KUZNETCOV"

In this paper considers issues of improving the efficiency of the catalytic converter. Designed a new design of the catalytic unit. Completed the full range of hydrodynamic calculations of micro eddy currents in the channels of the catalyst.

GTE, GTP, catalyst, micro vortex flow, catalytic conversion of methane, coplanar-overlapping channels, heterogeneous combustion, heat and mass transfer, twisted flow.

Информация об авторах

Кныш Юрий Алексеевич, доктор технических наук, профессор кафедры теории двигателей летательных аппаратов, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: Knysh194@mail.ru. Область научных интересов: газодинамика и горение в закрученных потоках.

Цыбизов Юрий Ильич, начальник отдела ОКБ, Открытое акционерное общество «Кузнецов», г. Самара. Область научных интересов: рабочий процесс в камерах сгорания ГТД.

Дмитриев Дмитрий Николаевич, инженер, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: ddn-rover@mail.ru. Область научных интересов: экспериментальное исследование процессов горения в камерах сгорания ГТД.

Горшкалёв Алексей Александрович, инженер, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: AGorsh@bk.ru. Область научных интересов: моделирование рабочих процессов тепловых машин.

Knysh Yuri Alekseevich, Doctor of Technical Science, professor of the theory of aircraft engines, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). E-mail: Knysh194@mail.ru Area of research: Gas dynamics and combustor in swirled flow.

Zibizov Yuriy Ilyich, Head of development department of JNC "KUZNETCOV". Area of research: processes in combustion chambers of Gas turbine Engine.

Dmitriev Dmitriy Nikolaevich, Engineer, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). Area of research: experimental research of aerodynamic processes in combustion chambers of gas turbine engine.

Gorshkalev Alexey Aleksandrovich, engineer, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). E-mail: AGorsh@bk.ru. Area of research: work processes of heat engines.